

I-64

フラクタル次元を用いた橋梁景観の定量的解析について

北海道大学大学院工学研究科 正 員 小幡 卓司
 北海道大学大学院工学研究科 学 生 員 深井 隆史
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川 俊郎
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 浩一

1. ま え が き

一般に、構造物の形態はその構造物が果たす役割、力学的な条件あるいは周辺の環境との調和等の様々な観点から検討を行う必要があると言われている。従来我が国における土木構造物の設計は、主に安全性と経済性のみを道路橋示方書¹⁾等に則した方法で照査し、その形状を決定する手順で実施されてきたが、近年の社会資本の充実あるいは建設技術の著しい向上に伴って、構造物に対する周辺の景観への配慮、自然環境との調和等が次第に重要視されつつある。特に橋梁構造物においては、道路あるいは鉄道の一部であるというその性格上人目に付きやすく、各種の構造形式が選択可能であること、容易にランドマークとなり得る等の特徴を有するため比較的早くから景観に関する検討が行われて、現在では一部の設計指針²⁾にも景観の配慮に関する照査方法が示されるようになってきた。

一方、設計手法の一部という観点から景観の配慮について考察すれば、抽象的な表現でその評価を行うよりは、何らかの定量的解析を導入して数値的な判断基準を確立することが望ましい。このことは、評価に際して特別な美術的センスあるいは景観に関する知識等をあまり必要とせず、一般の設計者が容易にかつばば統一された評価を行える利点を有することから現実的であると考えられる。これらの観点から、客観的な数値判断基準を明らかにしようとする研究がいくつか知られているが^{3,4,5)}、人間の感覚の数量化が極めて困難であることから定量的な景観性の照査方法は未だに確立されていない。

以上を踏まえて、本研究では橋梁構造物の景観設計における上記の定量的な照査基準に対する基礎的検討を行うために、各種の橋梁および周辺景観のフラクタル次元解析を行うことにより風景の数値化を実施し、得られたフラクタル次元とアンケート調査結果の比較検討を行った。具体的には、まず山岳部と都市部の2種類の風景に対し、連続桁橋、吊橋、アーチ橋、トラス橋各1形式および斜張橋2形式の合計6形式の橋梁を挿入してフラクタル次元を求めた。また、これらの橋梁を挿入した図を用いて約200名に対して景観意識に関するアンケート調査を実施し、両者の比較検討を試みた。したがって、本研究はこれらの結果を報告するものである。

2. 解 析 手 法

2-1. フラクタル次元

一般に、自然界においては雲、海岸線あるいは山並み等、一見して規則性があるようには思えないランダムなパターンが数多く存在する⁶⁾。この一見何の変哲もないランダムパターンにも、比較的単純な拡大縮小に関する規則性が存在する場合があることが知られている。この自己相似性あるいはスケール不変性と呼ばれる特性に関して数学的な記述を試みたものがフラクタル幾何学と称される概念である。また、自己相似フラクタルを特徴づける最も重要な量として、自己相似パターンの粗密あるいは複雑さの程度を定量化したフラクタル次元は、一般に以下の式で与えられる。

$$D = \frac{\ln N}{\ln(1/\varepsilon)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 N は自己相似パターンが1段階複雑になった場合の、前世代における構成要素1個から生じる現世代の構成単位の個数であり、 ε はその縮小率あるいは分解能と呼ばれている。すなわち、ある自己相似フラクタルにおいてその構成要素が1世代複雑になるごとに l 等分され、 n 個体に分裂するとすると、 k 世代における N および ε は以下のように表される。

$$N = n^k \quad \varepsilon = l^{-k} \quad \dots\dots\dots (2)$$

一般のランダムパターンの図形に対するフラクタル次元の求め方は各種の方法が知られているが、本研究においては比較的容易にプログラミングが可能なボックスカウンティング法⁷⁾を用いることとした。このボックスカウンティング法とは、まず与えられた図形を含む空間を1辺の長さ ε_l の格子(ピクセル)に分割してその図形が乗っているピクセルの個数 $N(\varepsilon_l)$ を把握する。これは、与えられた図形を分解能 ε_l



(a) 吊 橋 (山岳部)



(b) 吊 橋 (都市部)

図-1 フラクタル解析用風景

表-1 フラクタル次元

	連続桁橋		吊 橋		アーチ橋		斜張橋 A		斜張橋 B		トラス橋	
	部材	次元	部材	次元	部材	次元	部材	次元	部材	次元	部材	次元
山岳部	114	1.195	238	1.390	260	1.364	165	1.325	182	1.472	202	1.307
都市部	137	1.253	255	1.363	277	1.350	182	1.441	199	1.327	219	1.324

で粗視化して調べることに相当する。分解能 e_i を変えた際の個数 $N(e_i)$ の変化の様子を両対数グラフに展開し、それがより直線的であれば解析対象となる図形は強い自己相似性を有することが確認され、またその傾きの絶対値がフラクタル次元 D を与えるものである。

本研究では、前述のように山岳部および都市部の風景に各形式の橋梁を挿入し、分解能 e_i をそれぞれ 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm, 5.0mm, 10.0mm に変化させて個数 $N(e_i)$ を求めることにより各橋梁形式に対するフラクタル次元を算出した。図-1(a),(b)に解析対象の一例として、山岳部および都市部において吊橋を用いた場合を示す。また表-1 は、本研究における解析結果である。なお表中の部材とは、図形を構成する線分の数であり、斜張橋 A は 2 径間、B は 3 径間の斜張橋（後述の図-2(a),(b)を参照）を示している。表-1 に着目すると、部材の増加に対して必ずしもフラクタル次元が増大するとは限らないと言う結果が得られている。これは、上記のようにフラクタル次元は見た目の複雑さではなく、図形全体の自己相似性を表現しているためと考えられる。例えば図-1 において、山岳部の背景は比較的水平方向の線分が多く、都市部においては鉛直方向が多いため、吊橋のハンガー等の鉛直方向部材が背景と相似性を有するか否かの相違で表-1 のような結果になったものと思われる。よって、フラクタル次元を橋梁景観に適用することにより、各種の橋梁形式に対する背景との整合性の検討もある程度可能であるものと推定される。

2-2. 橋梁景観に関する意識調査

本研究では、フラクタル次元と人間の景観に対する感覚の関係を明らかにするために、アンケート形式による橋梁景観に関する意識調査を実施した。調査方法は、山岳部、都市部背景においてそれぞれ連続桁橋を基準とし、これに対して他の橋梁形式を比較した場合にどの程度背景に適合しているかを答える、計量心理学における一対比較法⁷⁾を採用することとした。すなわち、連続桁橋を基準値 4 として、ランク 1（悪い）～ランク 7（良い）までの 7 段階に各橋梁を評価してフラクタル次元との関係を求めようとするものである。

表-2 アンケート回答用紙

別紙の絵を見て次の問に答えて下さい

1) 番号 1 の絵を基準として、2-6 の絵を 7 段階に評価して下さい

2 の橋 (吊り橋) について

3 の橋 (アーチ橋) について

4 の橋 (斜張橋 1) について

5 の橋 (斜張橋 2) について

6 の橋 (トラス橋) について

2) 1-6 の 6 つの絵について、背景と調和していると思われる順に選んで下さい。

1 位 2 位 3 位 4 位 5 位 6 位

3) 番号 7 の絵を基準として、8-12 の絵を 7 段階に評価して下さい。

8 の橋 (吊り橋) について

9 の橋 (アーチ橋) について

10 の橋 (斜張橋 1) について

11 の橋 (斜張橋 2) について

12 の橋 (トラス橋) について

4) 7-12 の 6 つの絵について、背景と調和していると思われる順に選んで下さい。

1 位 2 位 3 位 4 位 5 位 6 位

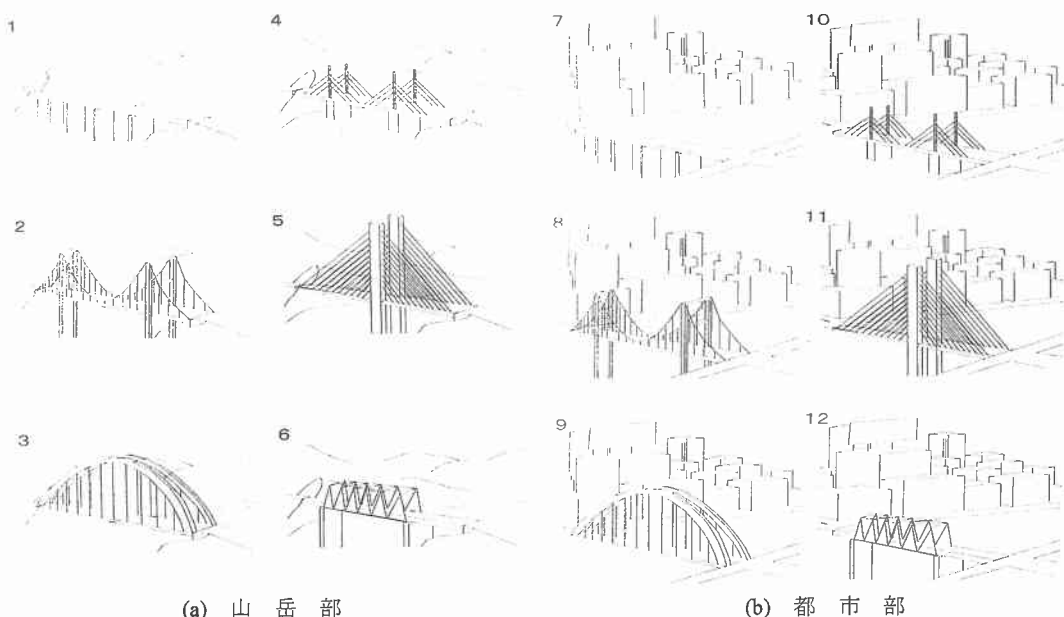


図-2 アンケート調査用風景

被験者は北海道大学工学部土木工学科の2～4年生に依頼し、その総数は194名、性別はおおよそ9割が男性である。表-2に回答用紙を、図-2(a),(b)に今回用いた風景を示す。

3. 景観意識とフラクタル次元の相関性

以上のようにして得られたアンケート調査において、各ランクを選択した度数とフラクタル次元の関係を表-3(a),(b)に示す。

表-3 アンケート調査結果

(a) 山 岳 部

	フラクタル次元	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5	ランク6	ランク7
トラス橋	1.3072	18	25	40	44	33	26	8
斜張橋B	1.3254	9	24	43	46	34	32	6
アーチ橋	1.3635	4	19	31	31	52	38	19
吊 橋	1.3902	2	9	17	19	34	56	57
斜張橋A	1.4719	27	44	37	26	22	27	11

(b) 都 市 部

	フラクタル次元	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5	ランク6	ランク7
トラス橋	1.3236	28	45	51	33	19	12	5
斜張橋B	1.3271	7	6	20	31	37	61	31
アーチ橋	1.3499	3	7	18	29	40	63	33
吊 橋	1.3627	9	18	42	23	48	38	15
斜張橋A	1.4414	8	20	41	48	35	28	13

また、図-3(a),(b)は表-3を図化したものである。

まず、表-3より橋梁形式とランク付けの関係は、背景の変化に伴って比較的大きな変動を示しており、特定の橋梁形式が景観的に優れているとは一概に言えない結果となっていると思われる。例えば2径間の斜張橋Aは、山岳部背景において36.6%がランク2以下を選択しているが、都市部においては14.5%と半数以下になっていることがわかる。また吊橋は、山岳部では非常に人気が高いものの、都市部においては平均的な評価となっている。よって、従来から指摘されているように、橋梁景観においては周辺環境との調和が重要な要素になることが容易に判断できる。

次に、図-3(a),(b)からフラクタル次元と景観意識との関係について考察を加えれば、フラクタル次数が1.30～1.33程度ではその評価は平均的であり、1.35～1.39程度で良い評価が得られ、1.4を越えると悪化する傾向を有する結果となっている。このことは、背景の相違によって多少の数値的なバラツキは見られるものの、全体的な傾向は特に評価の良いランクにおいて概ね一致すると考えられる。すなわち、ある背景に対しての自己相似性の度合いが比較的高いまたは極めて低い場合、換言すれば橋梁を含んだ風景が単純に過ぎたり、あるいは非常に複雑な場合には周辺の景観との調和が困難であると

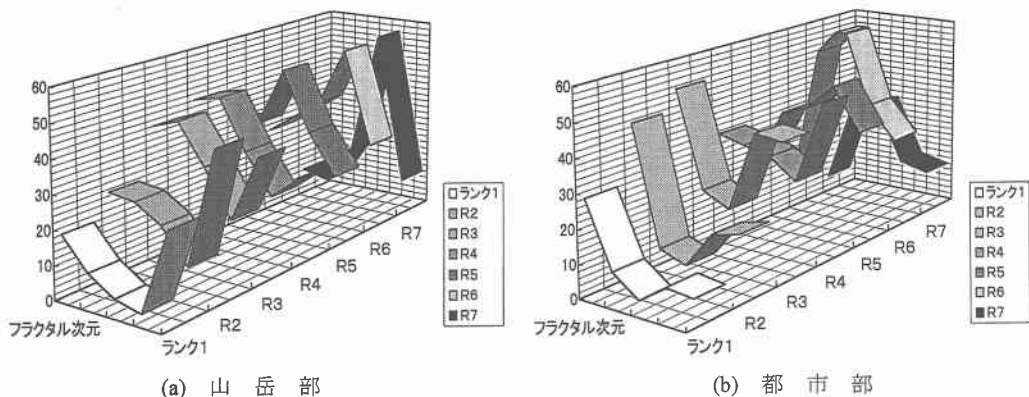


図-3 フラクタル次元と景観意識

推定できると思われる。

さらに、これらの結果から評価に変化が生じるフラクタル次元の変曲点を求めるため、アンケート調査における各ランクに対して2次関数を用いてカーブフィッティングを行ない、その極大値ある

表-4 各ランクにおける極値

	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5	ランク6	ランク7
山 岳 部	1.38	1.37	1.40	1.41	1.37	1.39	1.39
都 市 部	1.39	1.38	1.37	1.37	1.39	1.38	1.38
山岳+都市	1.39	1.38	1.39	1.40	1.38	1.38	1.39

いは極小値を求めることを試みた。その結果を表-4 に示す。表-4 に着目すると、どのランクについてもその極値はほぼ 1.38 程度となる興味深い結果が得られた。よってフラクタル次元と景観に対する意識には、ある程度強い相関関係を有するものと考えられ、設計において周辺環境との調和を検討する際の数値的判断基準の一つとして適用できる可能性を持つものと推定できる。

4. あ と が き

以上のように、本研究では各種の橋梁景観のフラクタル次元解析と意識調査を通じて、橋梁構造物の景観設計における定量的な照査基準に関して基礎的検討を試みたものである。

アンケート調査結果からは、従来から指摘されているとおり、橋梁景観においては橋梁と周辺環境との調和が重要な要素であり、特定の橋梁形式が景観的に優れているとは一概に言えない結果が得られた。また、フラクタル次元と景観意識との関係については、橋梁周辺の背景には依存せず、1.35～1.39程度のフラクタル次元を有する場合には比較的良好の評価となることが判明した。これらの結果に対して、2次関数によるカーブフィッティングを行うことによりその極大値あるいは極小値を求めると、それらはほぼ 1.38 程度となることがわかった。したがって、フラクタル次元と景観に対する意識にはかなりの相関関係が存在するであろうことが容易に推定され、さらに多くの橋梁景観に対してフラクタル次元の算定と意識調査を行なって、より正確なフラクタル次元の極値を同定することにより、設計において周辺環境との調和を検討する際の数値的判断基準の一つとして適用できる十分な可能性を持つものと考えられる。

最後に、アンケート調査にご協力いただいた諸氏に対して、ここに記して深い謝意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会編：道路標示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，1996。
- 2) 北海道土木技術会鋼道路橋研究委員会編：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針，1995。
- 3) 福島宏幸，五郎丸英博，浪越勇，三浦金作，土方吉男：フラクタル次元と $1/f^{\beta}$ ノイズによる橋空間の解析，土木学会第 52 回年次学術講演会概要集 I-A，pp.704-705，1997。
- 4) 西藤康浩，岩松幸雄，原田隆郎，山口允朗，阿久澤孝之： $1/f$ ゆらぎによる橋梁の景観性評価に関する研究，土木学会第 51 回年次学術講演会概要集 I-A，pp.412-413，1996。
- 5) 吉岡正泰，岩松幸雄，原田隆郎，山口允朗，阿久澤孝之：フラクタル次元による橋梁の景観性評価に関する研究，土木学会第 51 回年次学術講演会概要集 I-A，pp.414-415，1996。
- 6) 松下貢：医学・生物学におけるフラクタル，朝倉書店，1992。
- 7) 田中良久：心理学的測定法，東京大学出版会，1971。